

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
31. Januar 2002 (31.01.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/08579 A1**

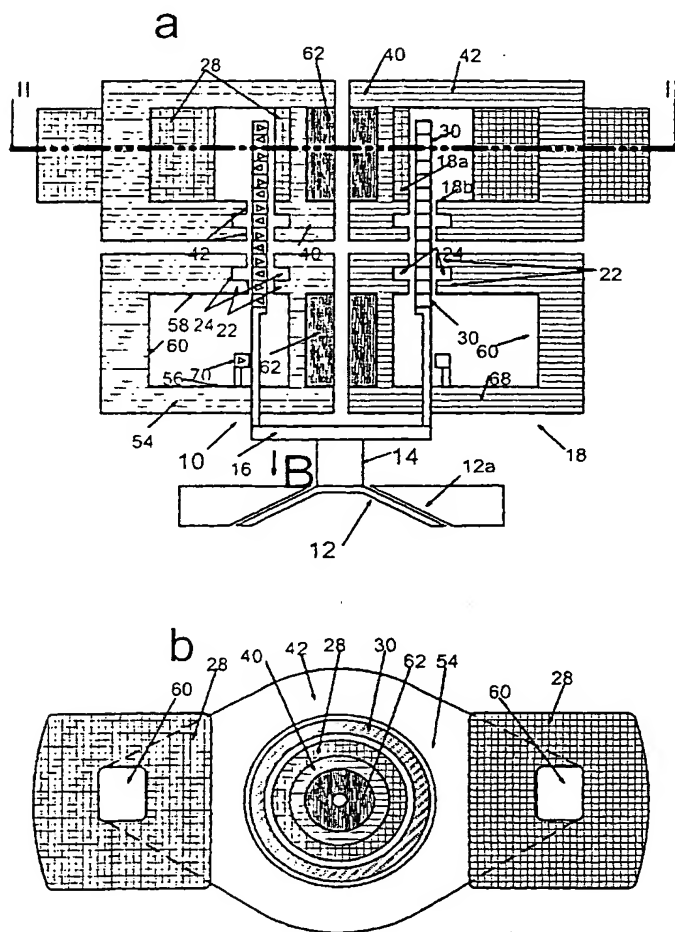
(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **F01L 9/04** (30) Angaben zur Priorität:  
100 35 973.6 24. Juli 2000 (24.07.2000) DE  
(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/EP01/08562** 100 44 789.9 11. September 2000 (11.09.2000) DE  
101 25 767.8 28. Mai 2001 (28.05.2001) DE  
(22) Internationales Anmeldedatum:  
24. Juli 2001 (24.07.2001) (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme  
von US): **COMPACT DYNAMICS GMBH [DE/DE];**  
Gautinger Strasse 6, 82319 Starnberg (DE).  
(25) Einreichungssprache: **Deutsch** (72) Erfinder; und  
(26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch** (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **Gründl, Andreas**  
[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **GAS-EXCHANGE VALVE CONTROL FOR A VALVE-CONTROLLED INTERNAL COMBUSTION ENGINE**

(54) Bezeichnung: **GASWECHSELVENTILANTRIEB FÜR EINEN VENTILGESTEUERTEN VERBRENNUNGSMOTOR**



WO 02/08579 A1



(57) Abstract: The gas-exchange valve control for a valve-controlled internal combustion engine comprises a hollow cylindrical rotor (16) that can be coupled to a valve member and a stator (18). The rotor has permanent-magnetic rings (30) positioned concentrically one above the other. The stator consists at least partially of a soft magnetic material and has at least one tooth (22) facing towards the rotor. The stator comprises a magnetically conductive region (50), which is situated radially in its interior and a magnetically conductive region (52), which is situated radially on its exterior, the rings of the rotor being located between the interior and exterior regions of the stator. At least one part (54) of the exterior region of the stator has a C-shaped cross-section and at least one stator coil (28). At least one tooth (42) is configured on the interior magnetically conductive region and/or on the external magnetically conductive region of the stator in the displacement direction of the rotor. The proportions of said tooth in the displacement direction of the rotor are substantially equal to the proportions of a permanent-magnetic ring in the displacement direction of the rotor, in such a way that in a predetermined position of the rotor, the tooth/teeth of the stator is/are aligned with a permanent-magnetic ring.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



[DE/DE]; Haseneystasse 20, 81377 München (DE).  
**Hoffmann, Bernhard** [DE/DE]; Otto-Gassner-Strasse 3,  
82319 Starnberg (DE).

(74) **Anwalt:** Schmidt, Steffen, J.; Schweigerstr. 2, 81541  
München (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten (national):** AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU,  
CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,  
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK,  
LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,  
MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL,  
TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH,  
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW),

eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,  
TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK,  
ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR),  
OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,  
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden  
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen  
eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen  
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on  
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe  
der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Der Gaswechselventilantrieb für einen ventilgesteuerten Verbrennungsmotor hat einen mit einem Ventilglied zu koppelnden hohlzylindrischen Läufer (16) und einen Ständer (18), wobei der Läufer konzentrisch übereinander angeordnete, dauermagnetische Ringe (30) aufweist, der Ständer zumindest teilweise aus einem weichmagnetischen Material aufgebaut ist und zumindest einen dem Läufer zugewandten Zahn (22) aufweist, der Ständer einen radial innen liegenden magnetisch leitenden Bereich (50) und einen radial außen liegenden magnetisch leitenden Bereich (52) aufweist, wobei die Ringe des Läufers zwischen dem innen liegenden Bereich und dem außen liegenden Bereich des Ständers angeordnet sind, und der außen liegende Bereich des Ständers zumindest in einem Teilabschnitt (54) eine C-förmige Querschnittsgestalt hat und zumindest eine Ständerspule (28) aufweist. Dabei ist an dem radial innen liegenden magnetisch leitenden Bereich des Ständers und/oder dem radial außen liegenden magnetisch leitenden Bereich des Ständers in Bewegungsrichtung des Läufers wenigstens ein Zahn (42) ausgebildet, dessen Abmessung in der Bewegungsrichtung des Läufers im wesentlichen gleich der Abmessung eines dauermagnetischen Rings in der Bewegungsrichtung des Läufers ist, so daß in einer vorbestimmten Stellung des Läufers der wenigstens eine Zahn des Ständers mit einem dauermagnetischen Ring fluchtet.

**Gaswechselventilantrieb für einen ventilgesteuerten Verbrennungsmotor****Beschreibung****Hintergrund der Erfindung**

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Gaswechselventilantrieb für einen ventilgesteuerten Verbrennungsmotor. Insbesondere betrifft die Erfindung ein Gaswechselventil, bei dem die Hin- und Herbewegung des Ventilgliedes nicht durch eine Nockenwelle bewirkt und gesteuert wird. Vielmehr wird bei dem erfindungsgemäßen Gaswechselventil das Ventilglied elektrisch betätigt.

**Stand der Technik**

Aus der DE 195 18 056 A1 ist eine Gasventilsteuerung mit einem Gaswechselventil bekannt, das durch eine Elektromagnetanordnung betätigt wird. Dabei wird durch eine besondere Ausgestaltung des Polschenkels der Elektromagnetanordnung ein auf die Bewegung des Ankers bezogenes Signal in der Ansteuerleitung der Elektromagnetanordnung erzeugt. Dieses Signal kann ausgewertet werden, um beliebige Ankerpositionen ohne zusätzliche Sensoren zu erkennen. Ein großes Problem beim Einsatz einer Elektromagnetanordnung zur Betätigung des Ventils ist die hohe Geräuschentwicklung beim Erreichen der jeweiligen Endstellungen, das abrupte Abbremsen beim Erreichen der Endstellungen sowie die erforderlichen hohen Halteströme.

Gleiches gilt für verschiedentlich vorgeschlagene Differential-Elektromagnetanordnungen, die zum Erreichen des erforderlichen Schubes von etwa 300 - 400 N für PKW-Verbrennungsmotoren gezielt mit ansteigenden Strömen beaufschlagt werden. Damit führt das durch eine Federanordnung belastete Ventil zunächst eine Schwingbewegung aus, bevor eine an dem Ventilschaft angeordnete Eisenplatte an dem Anker der Elektromagnetanordnung anliegt, so daß ein sehr viel geringerer Haltestrom erforderlich ist. Allerdings ist hierbei die maximale Drehzahl des Motors erheblich begrenzt. Die Anlaufzeit beim Start ist relativ hoch, da es wegen der notwendigen hohen Kraft einige Zeit dauert, bis sich die Ventilanordnung in ihre gewünschte Stellung geschwungen hat.

Aus der JP-A-3-92518 ist eine Antriebseinrichtung für eine Ventilanordnung in Verbrennungsmotoren bekannt, bei der der Ständer aus zwei etwa halbzylindrischen Schalen aufgebaut ist, die sowohl in Umfangsrichtung als auch in Längsrichtung jeder Schale geteilte, dem Läufer zugewandte Zähne aufweisen. Die einzelnen Zähne jeder Schale sind jeweils von einer Spule umgeben, deren Mittellängsachse in radialer Richtung verläuft. Dadurch ergibt sich ein in radialer Richtung orientierter magnetischer Fluß, der ausgehend von jedem einzelnen der Vielzahl von Zähnen, durch den Luftspalt zwischen Ständer und Läufer, in den Läufer fließt.

Eine insoweit übereinstimmende Ausgestaltung des Ständers, der Ständerspulen und des Läufers einer Antriebseinrichtung für eine Ventilanordnung in Verbrennungsmotoren ist in der US 5,129,369 beschrieben. Auch hier sind in radialer und tangentialer Richtung unterteilte Zähne des Ständers jeweils von einer Spule umgeben, deren Mittellängsachse in radialer Richtung verläuft.

Auch die EP 0 485 231 A1 zeigt eine ähnliche Art der Gestaltung des Ständers, der Ständerspulen und des Läufers einer Antriebseinrichtung für eine Ventilanordnung in Verbrennungsmotoren. Auch hier sind in radialer und tangentialer Richtung unterteilte Zähne des Ständers jeweils von einer radial orientierten Spule umgeben.

Diese Anordnungen erfordern in der Herstellung einen sehr hohen Aufwand, da die Montage der Spulen um die einzelnen Zähne herum schwierig zu realisieren ist. Außerdem ist die bei diesem Aufbau erzielbare Polteilung relativ groß.

Aus der WO98/55741 ist eine Ventilanordnung für einen ventilgesteuerten Verbrennungsmotor bekannt, mit einem elektrischen Wanderfeldmotor als Aktuator für ein Ventilglied, der einen mit einem Ventilglied gekoppelten Läufer und einen Ständer aufweist. Der Ständer ist aus Blechen aufgebaut, deren Fläche senkrecht zur Bewegungsrichtung des Läufers orientiert ist. Der Ständer hat dem als Synchron- oder Asynchröläufer ausgebildeten Läufer zugewandte Zähne, die jeweils eine geschlossene, dem Läufer zugewandte Zylindermantelfläche haben. Jeweils zwischen zwei benachbarten Zähnen des Ständers sind Ständerspulenkamern gebildet, in denen jeweils eine parallel zu der Fläche der Bleche orientierte Spule angeordnet ist.

Aus der US 6,039,014 ist eine von einem Linearmotor angetriebene Ventilanordnung für einen Verbrennungsmotor bekannt. Hierbei weist ein Ständer des Linearmotors mehrere Spulen auf, die jeweils durch einen ferromagnetischen Gehäuseabschnitt voneinander getrennt sind. Ein Läufer ist aus mehreren, aus einem dauermagnetischen Material bestehenden Abschnitten aufgebaut, zwischen denen jeweils aus einem ferromagnetischen Material bestehenden Abschnitten angeordnet sind.

Weitere Dokumente, die technischen Hintergrund für die Erfindung zeigen, sind ohne Anspruch auf Vollständigkeit: DE 33 07 070 A1, DE 35 00 530 A1, EP 244 878 B1, WO 90/07635, US 4,829,947, EP 377 244 B1, EP 347 211 B1, EP 390 519 B1, EP 328 194 B1, EP 377 251 B1, EP 312 216 B1, US 4,967,702, US 3,853,102, US 4,829,947, US 4,915,015, WO 90/07637, EP 244 878 B1, EP 328 195 A2.

#### Der Erfindung zugrundeliegendes Problem

Alle Konzepte, die in den vorstehend genannten Dokumenten beschrieben sind, haben gemeinsam, daß mit ihnen der für Gaswechselventile in Verbrennungsmotoren erforderliche Hub, Schub und Dynamik bei ausreichend kompaktem Aufbau und hoher Zuverlässigkeit für den Groß-Serien-Einsatz in KFZ-Motoren nicht erreicht werden. Außerdem sind bekannte Anordnungen in der Herstellung sehr platz- und kostenintensiv. Schließlich sind diese Anordnungen auch nicht für den Einsatz in schnell laufenden (hochtourigen) Verbrennungsmotoren geeignet, da keine dieser Anordnungen hinsichtlich der bewegten Massen optimiert ist.

#### Erfindungsgemäße Lösung

Zur Behebung dieser Nachteile lehrt die Erfindung einen Gaswechselventilantrieb für einen ventilgesteuerten Verbrennungsmotor, mit einem elektrischen Linearmotor als Aktuator für ein Ventilglied, der durch die Merkmale des Anspruchs 1 definiert ist.

Aufbau und Vorteile der erfindungsgemäßen Lösung

Erfindungsgemäß hat der Gaswechselventilantrieb für einen ventilgesteuerten Verbrennungsmotor einem mit einem Ventilglied zu koppelnden hohlzylindrischen Läufer und einen Ständer, wobei der Läufer konzentrisch übereinander angeordnete, dauermagnetische Ringe aufweist, der Ständer zumindest teilweise aus einem weichmagnetischen Material aufgebaut ist und zumindest einen dem Läufer zugewandten Zahn aufweist, der Ständer einen radial innen liegenden magnetisch leitenden Bereich und einen radial außen liegenden magnetisch leitenden Bereich aufweist, wobei die Ringe des Läufers zwischen dem innen liegenden Bereich und dem außen liegenden Bereich des Ständers angeordnet sind, und der außen liegende Bereich des Ständers zumindest in einem Teilabschnitt in radialer Richtung eine C-förmige Querschnittsgestalt hat und zumindest eine Ständerspule aufweist.

Das der Erfindung zugrunde liegende Konzept besteht darin, den die Ankerdurchflutung bewirkenden Teil des Ständers, nämlich dem Spulenbereich mit der Ständerspule räumlich aus dem die Kraft des Linearmotors bildenden Teil, nämlich dem Zahnbereich des Ständers "herauszulösen". Damit kann im Vergleich zu herkömmlichen Linearmotoren, bei denen die Ständerspulen jeweils zwischen zwei Zähnen des Ständers angeordnet sind, eine erheblich höhere Ankerdurchflutung erreicht werden. Dies liegt daran, daß die Spule durch die erfindungsgemäße Gestaltung erheblich weniger räumliche Einschränkungen hat und so auf minimale (ohmsche) Verluste - und damit einhergehende maximale Magnetfeldinduktion - optimiert werden kann. Durch die Abmessungen der dauermagnetischen Ringe in der Bewegungsrichtung des Läufers bzw. die Abmessungen eines Zahns des Ständers in der Bewegungsrichtung des Läufers ist eine Polteilung definiert, die kleiner ist als die Abmessung der Ständerspule in deren Längsrichtung.

Gleichermaßen werden die Kraft bzw. Bewegung hervorrufenden Läufermagnetpol/Ständerzahn-Anordnungen konzentriert, so daß diese nicht durch Ständerspulen unterbrochen sind. Dies erlaubt eine sehr kleine Polteilung, welche wiederum eine hohe Kraftdichte bewirkt. Außerdem sind mit der erfindungsgemäßen Anordnung Teilhübe des Ventilgliedes möglich. Damit kann bei einem mit den erfindungsgemäßen Gaswechselventilantrieben ausgestatteten Verbrennungsmotor auf eine Drosselklappe bei der Zumessung des Luft-Kraftstoff-Gemisches und deren zugehörige Ansteuerung verzichtet werden.

Durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung wird in den C-förmigen Jochen des außen liegenden Bereiches des Ständers durch die dort angeordnete(n) Ständerspule(n) magnetischer Fluß in den Ständer induziert und fließt von den radialen Abschnitten der C-förmigen Joche über den ringförmigen Luftspalt, in dem die hohlzylindrischen Dauermagneten angeordnet sind, in den innen liegenden (zylindrisch geformten) Bereich des Ständers. Von dem innen liegenden Bereich des Ständers dort schließt sich der magnetische Kreis wieder in Richtung der C-förmigen Joche des außen liegenden Bereiches des Ständers.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Gaswechselventilantriebs besteht darin, daß praktisch nur die magnetisch wirksamen Komponenten (die Dauerma-

gnete) zur trägen Masse des Läufers beitragen, während alle anderen Teile des Motors (Spulen, magnetischer Rückschluß, etc.) dem Ständer zugeordnet sind. Damit kann ein besonders hohes Verhältnis von durch den Motor ausgeübter Kraft zu träger Masse erzielt werden. Außerdem ist der erfindungsgemäße Gaswechselventilantrieb hervorragend geeignet, in schnell laufenden Verbrennungsmotoren eingesetzt zu werden. Dabei kann insbesondere das Annähern des Ventilgliedes an die Endpositionen (Offen- oder Geschlossen-Stellung des Gaswechselventils) bei hoher Geschwindigkeit mit hohen Beschleunigungsänderungen erfolgen, so daß das Ventilglied im Ventilsitz mit minimaler Geschwindigkeit auftrifft, während das Ventilglied im übrigen mit sehr hohen Geschwindigkeiten bewegt wird. Außerdem steht in den Endbereichen des Bewegungsverlaufs die maximale Kraft zur Verfügung. Dies erlaubt einen sehr geräusch- und verschleißarmen, und wegen der erzielbaren hohen Haltekräfte in den Endstellungen gleichzeitig sehr sicheren Betrieb der erfindungsgemäßen Gaswechselventile.

Da bei dem erfindungsgemäßen Gaswechselventilantrieb mehrere hintereinander geschaltete, einzeln ansteuerbare einphasige Motoren vorgesehen sein können, kann die insgesamt erzeugte Kraft entlang des Hubweges des Ventilgliedes genau auf die jeweils erforderliche Kraft eingestellt werden. Hierbei ist zu beachten, daß der erfindungsgemäße Gaswechselventilantrieb in der Regel einphasig zu betreiben ist. Es ist jedoch auch möglich, die Ständerspulen der einzelnen über einander angeordneten Motoren mehrphasig zu betreiben. Durch die erfindungsgemäße Anordnung ist es nicht erforderlich, das Ventilglied mit erheblicher kinetischer Energie zu beaufschlagen, damit dieses seine Endstellung einnimmt.

Durch die sehr einfach gestaltbare (einphasige und zylindrische) Anordnung der Ständerspule(n) ist es möglich, die auf die Spule wirkenden Rüttelkräfte gering zu halten, so daß Vibrationen der Spule oder Reibung der Spule an der Wandung der Ständerspulen-kammer gering sind. Damit ist es möglich, mit minimalem Isolationsmaterial bzw. Auskleidungsmaterial der Ständerspulen-kammer auszukommen. Auch dies trägt zur Kompaktheit und Zuverlässigkeit der Gesamtanordnung bei. Außerdem bewirkt dies eine hohe Leistungsdichte auch bei kleinen Gaswechselventilen, da der Füllfaktor der Ständerspulen-kammer (Spulenvolumen in der Ständerspulen-kammer bezogen auf das Gesamtvolumen der Ständerspulen-kammer) hoch ist.

Gegenüber den (zum Beispiel aus der US 6,039,014) bekannten Anordnungen minimiert die erfindungsgemäße Anordnung die Streuflüsse und erlaubt eine sehr effiziente Montage mehrerer nebeneinander angeordneter Gaswechselventile, wobei benachbarte Gaswechselventilantriebe den magnetischen Rückschluß zumindest zum Teil wechselweise nutzen können. Dadurch kann die Masse und das Volumen des magnetischen Rückschlußkörpers minimiert werden.

#### Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Lösung

Vorzugsweise ist der Spulenbereich in Bewegungsrichtung des Läufers größer als der Abstand zwischen zwei benachbart angeordneten Zähnen des Ständers.

Der Ständer kann in bekannter Weise aus Elektroblechteilen aufgebaut sein. Es ist aus Vereinfachung der Herstellung jedoch auch möglich, ihn zumindest teilweise als einen weichmagnetischen Formkörper, vorzugsweise aus gepreßtem und/oder gesintertem Metallpulver zu gestalten. Vorzugsweise weist der Ständer einen Bandwickel aus weichmagnetischem Blechband auf, wobei an den Stirnseiten des Bandwickels jeweils ein weichmagnetischer Formkörper, vorzugsweise aus gepreßtem und/oder gesintertem Metallpulver zur Bildung der Zähne angeordnet ist. Um die Sättigungsinduktion des Ständers zu erhöhen ist es auch vorteilhaft, wenn der weichmagnetische Formkörper des Ständers in seinem Inneren wenigstens einen Kern mit Kobalt-haltigem Eisen aufweist, der vorzugsweise als Blechwickel ausgestaltet ist.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist dem Läufer ein Wegsensor zur Erfassung des Hubes des Ventilgliedes zugeordnet. Dies kann zum Beispiel ein Interferometer oder ein induktiver Sensor mit Trägerfrequenz sein. Dies ist insbesondere deshalb vorteilhaft, weil mit dem erfindungsgemäßen Aktuator auch Teilhübe, (d.h. Zwischenstellungen zwischen Offen und Geschlossen) der Ventilanordnung möglich sind. Dieser Teilhub kann über den Sensor erfaßt bzw. kontrolliert werden.

Der Läufer ist zumindest teilweise durch einen magnetischen Rückschlußkörper des Ständers umgeben. Dabei kann die Spule des Ständers entweder an dem Ständer oder in dem Rückschlußkörper angeordnet sein.

Die magnetisch abwechselnd orientierten Dauermagnet-Ringe können zusätzlich durch magnetisch nicht wirksame Abstandshalter aus Leichtmaterial (Aluminium, Titan, Kunststoff - auch mit Glas- oder Kohlenstofffasereinlagen, oder dergl.) in einem vorbestimmten Abstand zueinander gehalten sein. Damit kann die träge Masse des Läufers gering gehalten werden.

Erfindungsgemäß ist der Ständer aus einem weichmagnetischen Material aufgebaut und hat dem Läufer zugewandte Zähne. Zwischen zwei benachbarten Zähnen des Ständers kann eine Wicklungskammer gebildet sein, in der eine Wicklung angeordnet ist. Der Läufer weist Ringe aus dauermagnetischem Material auf. Diese Magnetringe sind konzentrisch derart übereinander angeordnet sind und deren magnetische Orientierung ist so gestaltet, daß in einer vorbestimmten Stellung des Läufers zwei Zähne des Ständers jeweils mit einem Magnetring mit entgegengesetzter magnetischer Orientierung fluchten.

Zur Bildung eines Außenläufermotors ist der Ständer zumindest teilweise von dem Läufer - voneinander durch einen Luftspalt getrennt - umgeben. In analoger Weise ist zur Bildung eines Innenläufermotors der Läufer zumindest teilweise von dem Ständer umgeben. Dabei ist es erfindungsgemäß auch möglich, den Ständer durch übereinander angeordnete Dauermagnetscheiben zu bilden, während der Läufer eine Wicklungskammer aufweist, die durch entsprechende weichmagnetische Ringscheiben begrenzt ist.

Die mit den erfindungsgemäßen Ausführungsformen realisierbare hohe Kraftdichte ist unter anderem auch dadurch erreichbar, daß die Zähne bzw. die ihnen gegenüber befindlichen Dauermagnete im Verhältnis zur der axialen Erstreckung der Wicklungskammer

so kurz bemessen sind, daß zumindest zwei weitere Dauermagnete (mit jeweils unterschiedlicher magnetischer Orientierung) Platz finden.

Erfindungsgemäß ist in einer bevorzugten Ausführungsform der Läufer zumindest teilweise durch einen magnetischen Rückschlußkörper umgeben. Insbesondere beim Einsatz mehrerer nebeneinander angeordneter Gaswechselventile ist es vorteilhaft, einerseits bei jedem Gaswechselventil wenigstens zwei Wicklungskammern mit Zähnen, Wicklungen im Ständer und entsprechenden Dauermagneten im Läufer vorzusehen, wobei die Wicklungen in den benachbarten Gaswechselventilen derart gegensinnig angesteuert werden, daß die magnetischen Flüsse durch den magnetischen Rückschlußkörper möglichst wenig Streufluß-Anteile aufweisen. Damit kann das Volumen - und das Gewicht - des magnetischen Rückschlußkörpers gering gehalten werden. Außerdem minimieren sich dabei die Verlustleistungen. Ein wesentlicher Gesichtspunkt ist dabei, daß der magnetische Rückschlußkörper die Gestalt eines im Querschnitt etwa rechteckigen Profilrohres aufweist, bei dem zwei einander gegenüberliegende Wände Durchbrüche aufweisen, durch die der Innenteil des Stators (Spulenordnungen) und der Läufer hindurchragen. Diese Anordnung minimiert die Streuflüsse und erlaubt insbesondere auch eine sehr effiziente Montage mehrerer nebeneinander angeordneter derartigen Gaswechselventile, wobei - entsprechende elektrische Ansteuerung vorausgesetzt - benachbarte Gaswechselventil-Antriebe den magnetischen Rückschluß zumindest zum Teil wechselweise nutzen können. Damit kann die Masse (und das Volumen) des magnetischen Rückschlußkörpers minimiert werden.

Schließlich betrifft die Erfindung einen internen Verbrennungsmotor mit wenigstens einem Verbrennungszylinder, mit wenigstens einer Ventilanordnung für Ein- oder Auslaßventile mit einem oder mehreren der vorstehenden Merkmale.

#### Eigenschaften des erfindungsgemäßen Gaswechselventilantriebs

Aus der erfindungsgemäßen Ausgestaltung des Gaswechselventilantriebs ergeben sich folgende Eigenschaften:

- hohe Antriebsdynamik bei niedriger Leistungsaufnahme.
- Eine Federanordnung zum Ausgleich von durch bewegte Massen hervorgerufenen Kräften ist nicht erforderlich um bei einer Masse des Ventilgliedes von etwa 30 - 70 Gramm, einem Ventilhub von etwa 5 - 10 mm und einer Drehzahl eines Vierzylinder-Verbrennungsmotors von mindestens etwa 6000 U/min einen End-Positionswechsel (von Offen nach Geschlossen oder umgekehrt) des Ventilgliedes von weniger als 1.5 Millisekunden bei einer mittleren Leistungsaufnahme über zwei vollständige Kurbelwellenumdrehungen von weniger als etwa 100 Watt zu realisieren.
- In den jeweiligen End-Positionen des Ventilgliedes sind nur geringe Halteströme erforderlich um das Ventilglied sicher in der jeweiligen Stellung zu halten.
- Da auf eine Federanordnung verzichtet wird (siehe oben) entfallen sonst notwendige Einschwingvorgänge des Ventilgliedes. Dies verringert die Dauer des Stellvorgangs.
- Durch den erfindungsgemäßen Aktuator kann das Ventilglied praktisch aus jeder momentanen Lage präzise in jede beliebige Stellung gebracht werden. Dies gilt insbeson-



dere für die End-Positionen, die sehr genau von dem Ventilglied angefahren werden können. Damit kann - mit einer entsprechenden elektronischen Ansteuerung der Spule(n) ein Auftreffen des Ventilgliedes in seinem Ventilsitz mit weniger als 40mm/sec sichergestellt werden. Dies hält den Verschleiß und die Geräuschentwicklung der Ventilanordnung im Betrieb sehr gering.

- Das Ventilglied kann - obwohl mit dem Läufer starr verbunden - gegenüber seinem Ventilsitz um seine Bewegungsachse rotierbar aufgenommen sein, so daß ein punktueller Verschleiß des Ventilgliedes oder des Ventilsitzes verhindert wird.

- Durch die hohe Leistungsdichte der erfindungsgemäßen Anordnung können die Querabmessungen (Durchmesser) des Gaswechselventils mit den notwendigen Leistungsdaten sehr klein gehalten werden. Dies erlaubt den Einsatz in kompakten Pkw-Motoren.

Weitere Merkmale, Eigenschaften, Vorteile und mögliche Abwandlungen werden anhand der nachstehenden Beschreibung erläutert, in der auf die beigefügten Zeichnungen Bezug genommen ist.

#### Kurzbeschreibung der Zeichnungen

In Fig. 1 ist eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gaswechselventilantriebs schematisch im Längsschnitt veranschaulicht.

In Fig. 2a ist eine zweite Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gaswechselventilantriebs schematisch im Längsschnitt veranschaulicht.

In Fig. 2b ist eine Schnittansicht entlang der Linie II-II in der Ausführungsform nach Fig. 2a veranschaulicht.

In Fig. 3 ist eine dritte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gaswechselventilantriebs schematisch im Längsschnitt veranschaulicht.

In Fig. 4 ist eine vierte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gaswechselventilantriebs schematisch im Längsschnitt veranschaulicht.

In Fig. 5 ist eine fünfte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gaswechselventilantriebs teilweise schematisch im Längsschnitt veranschaulicht.

In Fig. 6 ist eine sechste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gaswechselventilantriebs teilweise schematisch im Längsschnitt veranschaulicht.

#### Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen der Erfindung

In den Fig. übereinstimmende Bezugszugszeichen kennzeichnen gleiche oder gleichwirkende Teile und sind nächstehend nicht mehrfach erläutert.

In Fig. 1 ist eine erste Ausführungsform eines elektrischen Linearmotors 10 veranschaulicht, der bei der erfindungsgemäßen Ventilanordnung als Aktuator für ein Ventilglied 12 eines Gaswechselventils dient, dessen zugehöriger Ventilsitz 12a nur schematisch veranschaulicht ist. Der Linearmotor 10 hat einen mit dem Ventilglied 12 über eine Stange 14 gekoppelten Läufer 16 und einen Ständer 18.

Der Ständer 18 ist bei dieser Ausführungsform als weichmagnetischer Formkörper mit im wesentlichen hohlzylindrischer Gestalt und einem darin befindlichen zylindrischen Kern aus gesinterter Eisen-Metallpulver gebildet. Dabei ist der Formkörper funktionell in

einen einen Zahnbereich 18' und einen dem Zahnbereich 18' benachbarten aber von ihm getrennten Spulenbereich 18'' unterteilt.

Der Zahnbereich 18' des Ständers 18 hat an seinem Umfang zwei dem Läufer 16 zugewandte Zähne 22 mit einer geschlossenen Mantelfläche. Im vorliegenden Beispiel mit  
5 in der Draufsicht kreisrunden Formkörpern haben die einzelnen Zähne 22 eine kreiszylindrische Mantelfläche. Es ist jedoch auch möglich, ovale Formkörper oder Formkörper mit polygonaler Gestalt zum Aufbau des Ständers 18 zu verwenden.

Die beiden Zähne 22 des Ständers 18 begrenzen zwischen sich eine parallel zu den Zähnen 22 verlaufende Ringnut 24, deren Abmessung bei der vorliegenden Ausführungs-  
10 form in der Bewegungsrichtung B des Läufers 16 der Abmessung der beiden Zähne 22 entspricht.

An den Zahnbereich 18' angrenzend weist der Ständer 18 den Spulenbereich 18'' auf, der eine zur Außenseite hin offene Ständerspulenkammer 26 hat, in der eine zur Mittellängsachse des Ständers 18 konzentrische Ständer-Spule 28 angeordnet ist. Die Ständer-Spule 28 ist zum Erzielen eines möglichst hohen Füllfaktors als Kupferbandspule ausgeführt. Die Art der Verschaltung der einzelnen Spulen 28 bzw. deren zeitlich gesteuertes  
15 Beaufschlagen mit elektrischem Strom ist von der gewünschten Art des Motors (Ein- oder Mehrphasenmotor) abhängig, wobei eine einphasige Betriebsweise einfacher und daher zu bevorzugen ist.

Da jede Spule 28 über ihre gesamte Erstreckung in der Ständerspulenkammer 26  
20 angeordnet ist, trägt sie auch über ihre gesamte Länge zur effektiven Kraftbildung in dem Linearmotor bei.

In der gezeigten Anordnung ist der Läufer 16 ein Hohlzylinder, der Magnetringe 30 aus dauermagnetischem Material (zum Beispiel Samarium-Cobalt) aufweist. Die einzelnen  
25 Magnetringe 30 sind konzentrisch übereinander angeordnet, wobei die magnetische Orientierung der Magnetringe abwechselnd radial orientiert ist und die Ringe in ihren Abmessungen so gestaltet ist, daß in einer vorbestimmten Stellung des Läufers 16 zwei Zähne 22 eines Ständers 18, jeweils mit einem Magnetring 30 mit gleicher magnetischer Orientierung fluchten.

Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Magnetringen 30 können zur Verringerung der trägen Masse des Läufers 16 auch magnetisch nicht wirksame hohlzylindrische Distanzhalter aus Kunststoff, zum Beispiel aus kohlefaserverstärktem Kunststoff eingefügt sein. Die aneinander anliegenden Dauermagnet-Ringe und die magnetisch nicht wirksamen Hohlzylinder sind fest mit einander verbunden. Mit anderen Worten befinden sich im  
30 beweglichen Teil des Motors (dem Läufer) keine Magnetfluß leitenden Teile (zum Beispiel Fluss-Leitstücke), sondern nur Dauermagnete, die stets optimal im magnetischen Feld angeordnet sind. Diese Anordnung hat auch den Vorteil einer Gewichtseinsparung. Sofern radial orientierte Ringscheiben aus dauermagnetischem Material nicht die ausreichende magnetische Feldstärke erzeugen können, ist es erfindungsgemäß auch möglich,  
35 Ringscheibensegmente aus Dauermagneten so zusammenzusetzen, daß ein radial (von  
40

innen nach außen oder umgekehrt) gerichtetes Magnetfeld quer zur Bewegungsrichtung des Läufers 16 entsteht.

Der Abstand zwischen den Zähnen 22 gegenüber der Abmessung der Zähne 22 in der Bewegungsrichtung B des Läufers 16 variieren. Dies erfordert jedoch auch entsprechende Ausgestaltung der Magnetringe 30 des Läufers 16, da die Periodizität der Magnetringe 30 des Läufers 16 gleich der Periodizität der Zähne 22 bzw. deren zwischenliegenden Ringnuten 24 am Ständer 18 sein muß.

An dem Läufer 16 ist ein Weg-Geber 32 angeordnet, der mit einer entsprechenden Sonde 34 abgetastet wird.

Als magnetischer Rückschluß ist als Teil des Ständers ein hohlzylindrisches Rohr 40 vorgesehen, das an seinem einen Endbereich (in Fig. 1 oben) zwei radial nach innen reichende Zähne 42 aufweist, die in zusammengebautem Zustand des Ständers 18 mit den Zähnen 22 des Ständers 18 fluchten. An seinem anderen Endbereich schließt das hohlzylindrische Rohr 40 mit der äußeren Einfassung des Spulenbereichs 18" ab.

In der Fig. 1 sind zwei übereinander angeordnete Ständer 18 gezeigt, die von einem gemeinsamen Läufer 16 durchdrungen sind. Damit ist es möglich, bei entsprechender Ansteuerungen der beiden Spulen 28 der beiden Ständer 18 einen zweiphasigen Linearantrieb zu realisieren.

Anstatt oder zusätzlich zu der Anordnung der Spule 28 an dem Außenumfang des Spulenbereichs 18', ist es auch möglich, die Spulen 28 an dem radial außen liegenden Abschnitt des magnetischen Rückschlusses 40 anzuordnen. Dies ist im Zusammenhang mit der in Fig. 2 veranschaulichten Ausführungsform nachstehend erläutert.

Fig. 2 zeigt einen Gaswechselventilantrieb mit einem Ständer 18 und einem hohlzylindrischen Läufer 16, der aus konzentrisch übereinander angeordneten dauermagnetischen Ringen 30 mit abwechselnden Magnetorientierungen aufgebaut ist.

Der Ständer 18 ist im wesentlichen aus einem weichmagnetischen Material aufgebaut mit einem radial innen liegenden magnetisch leitenden Bereich 40 und einen radial außen liegenden magnetisch leitenden Bereich 42. Die Magnetringe 30 des Läufers sind 16 in dem Luftspalt zwischen dem innen liegenden Bereich 50 und dem außen liegenden Bereich 52 des Ständers 18 angeordnet.

Der innen liegende Bereich 40 und der außen liegende Bereich 42 haben jeweils zwei miteinander fluchtende dem Läufer 16 zugewandte Zähne 22, die durch eine Ringnut 24 voneinander getrennt sind und auch jeweils mit einem der Magnetringe 30 des Läufers 16 fluchten. Die erfindungsgemäße Anordnung ist auch mit jeweils nur einem Zahn 22 an dem innen liegenden Bereich 50 und dem außen liegenden Bereich 52 funktionsfähig, die jeweils mit einem der Magnetringe 30 des Läufers fluchten. Weiterhin funktioniert die erfindungsgemäße Anordnung auch, wenn nur an dem an dem innen liegenden Bereich 50 oder dem außen liegenden Bereich 52 ein Zahn 22 ausgeformt ist, der mit einem der Magnetringe 30 des Läufers fluchtet.

Auch bei dieser in Fig. 2 veranschaulichten Ausführungsform können jeweils zwei benachbarte Ringe 30 des Läufers 16 durch magnetisch nicht wirksame Abstandshalter in einem vorbestimmten Abstand zueinander gehalten sein.

In gleicher Weise wie bei der Ausführungsform nach Fig. 1 ist hier die Spule des Ständers 18 größer als der Abstand bzw. der Raum zwischen zwei benachbart angeordneten Zähnen 22 des Ständers 18.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen der Ausführungsform nach Fig. 1 und der Ausführungsform nach Fig. 2 besteht darin, daß bei Fig. 2 die Ständerspule nicht nur wie bei Fig. 1 den radial innen liegenden Bereich des Ständers coaxial umgibt. Hierzu ist der radial außen liegende Bereich 52 des Ständers 18 in zwei einander radial gegenüberliegenden Teilabschnitten 54 im Querschnitt C-förmig gestaltet. Jeder der C-förmigen Teilabschnitte 54 hat zwei in Bewegungsrichtung B des Läufers 16 voneinander beabstandete radial orientierte Schenkel 56, 58. Die jeweiligen radial orientierten Schenkel 56, 58 sind durch ein im wesentlichen in Bewegungsrichtung B des Läufers 16 orientiertes Verbindungsstück 60 miteinander verbunden. Jedes der Verbindungsstücke 60 trägt eine Ständerspule 28. Nicht veranschaulicht, aber erfindungsgemäß ebenfalls möglich ist es, zusätzlich oder anstelle der parallel zur Bewegungsrichtung des Läufers 16 orientierten, gezeigten Ständerspulen 28 radial orientierte Ständerspulen an den radialen Schenkeln 56, 58 vorzusehen.

Der besseren Übersicht wegen sind die Ständerspulen 28 nur in der oberen Motoreinheit in Fig. 2a eingezeichnet, während sie bei der unteren Motoreinheit in Fig. 2a weggelassen sind.

Der Ständer 18 mit seinen radial inneren und seinen radial äußeren Bereichen ist ein weichmagnetischer Formkörper aus gepreßtem und gesintertem Metallpulver. Im radial innen liegenden Bereich des Ständers 18 ist in Richtung des magnetischen Flusses und längs der Bewegungsrichtung des Läufers 16 ein gewickelter Blech-Kern 62 mit Kobalt-haltigem Eisen in das Metallpulver des Formkörpers vor den Pressen und Sintern eingebracht. Dabei kann der gewickelte Blech-Kern 62 mit Kobalt-haltigem Eisen den Ständer 18 in seinem innen liegenden Teil praktisch vollständig ausfüllen, so daß zwischen dem gewickelten Blech-Kern 62 und der Ständerwicklung 28 kein weichmagnetisches gepreßtes und gesintertes Metallpulver vorgesehen ist. In gleicher Weise können, falls dies erforderlich ist, in dem radial außen liegenden Teil des Ständers 18 in Richtung des magnetischen Flusses gewickelte Blech-Kerne mit Kobalt-haltigem Eisen eingebracht sein.

Sofern die geometrischen Verhältnisse es zulassen, ist es auch möglich, wie in Fig. 2a in der oberen Motoreinheit gezeigt, den radial innen liegenden Bereich 40 des Ständers 18 ebenfalls mit einer Ständerspule 28 zylindrisch zu umgeben. In diesem Fall addieren sich die von den Ständerspulen induzierten magnetischen Flüsse bei gleichphasiger Ansteuerung.

Wie in Fig. 2b gezeigt, sind von dem radial außen liegenden Teil des Ständers 18 entlang des Umfangs des Ständers 18 verteilt zwei Teilabschnitte 54 mit jeweils einer Ständerspule 28 angeordnet. Es ist jedoch auch möglich, mehr als zwei der im Querschnitt

C-förmig gestalteten Teilabschnitte 54 mit entsprechenden Ständerspulen entlang des Umfangs des Ständers 18 zu verteilen.

Weiterhin ist in Fig. 2 eine Brems- und Halte-Einrichtung für den Läufer 16 in seiner unteren Endstellung (also der Offen-Stellung) veranschaulicht. Hierzu ist ein die Ringe 30 des Läufers 16 umgebender oder von diesen umgebener Magnetring 70 mit radialer Magnetorientierung im Bereich einer jeweiligen Anschlages des Läufers 16 ortsfest angeordnet. Dabei ist der Magnetring 70 bezogen auf die Bewegungsrichtung des Läufers 16 und insbesondere bezogen auf die Endstellung des unteren Rings 30 des Läufers 16 so angeordnet ist, daß der unterste Ring 30 des Läufers 16 sich vollständig an dem Magnetring 70 vorbeibewegen kann, bevor er den unteren Anschlag erreicht. Die Magnetorientierung des Magnetrings 70 und des unteren Rings 30 des Läufers ist so gewählt, daß zum Beispiel beide Ringe magnetische N-Pole sind, die aufeinander zu gerichtet sind. Es versteht sich, daß eine derartige Brems- und Halteeinrichtung für den Läufer 16 auch an der oberen Endstellung vorgesehen werden kann und auch in der Ausführungsform nach Fig. 1 einsetzbar ist.

In der Fig. 3 ist eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Gaswechselventilantriebes für einen ventilgesteuerten Verbrennungsmotor schematisch im Längsschnitt veranschaulicht.

Der Ständer 18 hat bei dieser Ausführungsform als Kern einen hohlzylindrischen Bandwickel 18' aus einem weichmagnetischem Blechband, vorzugsweise aus Eisen-Kobalt-Blech, dessen Fläche parallel zur Bewegungsachse B des Läufers 16 orientiert ist. An den beiden Stirnseiten des Bandwickels 18' ist jeweils ein weichmagnetischer Formkörper 18'', 18''' aus gesintertem Eisen-Metallpulver angeordnet, welche den Bandwickel 18' in radialer Erstreckung überragen. Die Formkörper 18'', 18''' des Ständers 18 bilden an ihrem Umfang dem Läufer 16 zugewandte Zähne 22 mit einer geschlossenen Mantelfläche. Im vorliegenden Beispiel mit in der Draufsicht kreisrunden Formkörpern 18'', 18''' haben die einzelnen Zähne 22 eine kreiszylindrische Mantelfläche. Es ist jedoch auch möglich, ovale Formkörper 18'', 18''' oder Formkörper 18'', 18''' mit polygonaler Gestalt zum Aufbau des Ständers 18 zu verwenden.

Die hohlzylindrischen Bandwickel 18' und die beiden in der Draufsicht kreisrunden Formkörper 18'', 18''' bilden eine zur Außenseite hin offene Ständerspulenkommer 26, in der eine zur Mittellängsachse des Ständers 18 konzentrische, als Kupferbandspule ausgeführte Ständer-Wicklung 28 angeordnet ist.

In der Mitte hat der Ständer 18 eine Ausnehmung, in der ein Stab 34 mit einem an seiner Umfangsfläche eingeätzten Zahnprofil, das mit einer Hall-Sonde 36 abgetastet wird. Das untere Ende (in der Fig.) des Stabes 34 ist mit dem Ventilglied 12 bzw. der Stange 14 starr gekoppelt, so daß die Hall-Sonde 36 eine Bewegung des Stabes 34 in Bewegungsrichtung B erfassen kann.

In der in Fig. 3 gezeigten Anordnung ist der Läufer 16 ein Hohlzylinder, der Ringe 30 aus dauermagnetischem Material (zum Beispiel Samarium-Cobalt) aufweist. Die einzelnen dauermagnetischen Ringe 30 sind konzentrisch übereinander angeordnet, wobei die

magnetische Orientierung der dauermagnetischen Ringe 30 (angedeutet durch die zur Ständermitte bzw. von ihr weg gerichteten Pfeile in jedem Ring) so gestaltet ist, daß in einer vorbestimmten Stellung des Läufers 16 zwei Zähne 22 eines Ständers 18, jeweils mit einem Ring 30 mit entgegengesetzter magnetischer Orientierung fluchten. Dabei kann insbesondere in der gezeigten Ausführungsform mit drei oder mehr übereinander angeordneten Ständerspulen ein Magnetring 30 mit einem Zahn eines ersten Ständers (zum Beispiel des mittleren) fluchten, während der zweite Magnetring 30 mit einem Zahn eines zweiten Ständers (zum Beispiel des unteren) fluchtet. Es ist jedoch auch möglich, daß die beiden Magnetringe 30 mit den beiden Zähnen eines Ständers fluchten.

Der Läufer 16 ist aus Dauermagnet-Ringen aufgebaut, die aufeinander gestapelt und miteinander fest verbunden sind.

Als magnetischer Rückschluß ist ein im Querschnitt rechteckiges magnetisch leitendes Rohr 42 vorgesehen, das in zwei einander gegenüberliegenden Wandungen Ausnehmungen 42a, 42b aufweist, durch die der Läufer 16 und der Ständer ragen. Die Wandungen des Rohrs 32 haben eine solche Materialdicke und einen solchen Abstand zueinander, daß sie mit zwei Zähnen 22 eines Ständers 18 fluchten.

Zwei zueinander in Bewegungsrichtung B des Läufers 16 benachbarte Ständer 18 eines Gaswechselventils sind durch eine als Abstandshalter und Wirbelstromabschirmung wirkende Aluminiumschiene 44 miteinander fest verbunden.

In der in Fig. 3 gezeigten Ausführungsform sind drei Ständer 18 übereinander angeordnet. Hierbei können in der leichtesten Ausführungsform des Läufers zwei Magnetringe 30 im Abstand zueinander angeordnet sein. Vorzugsweise sind jedoch wenigstens vier Magnetringe 30 vorgesehen, wobei jeweils zwei Magnetringe 30 (also ein Magnetring-Paar) mit entgegengesetzter magnetischer Orientierung entweder direkt aneinander liegen oder lediglich einen geringen (axialen) Abstand zueinander haben. Durch die Festlegung des Abstandes der Magnetringe 30 zueinander bzw. auch des Abstandes der Magnetring-Paare 30 zueinander kann der Hubverlauf beeinflußt werden.

In der in Fig. 4 gezeigten Anordnung ist der Läufer 16 ein Hohlzylinder, der Ringe 30 aus dauermagnetischem Material (zum Beispiel Samarium-Cobalt) aufweist. Die einzelnen Ringe 30 sind konzentrisch übereinander angeordnet, wobei die magnetische Orientierung der Ringe (angedeutet durch die zur Ständermitte bzw. von ihr weg gerichteten Pfeile in jedem Ring) radial orientiert und so gestaltet ist, daß in einer vorbestimmten Stellung des Läufers 16 zwei Zähne 22 eines Ständers 18, jeweils mit einem Ring 30 mit entgegengesetzter magnetischer Orientierung fluchten. Dabei kann insbesondere in der gezeigten Ausführungsform nach Fig. 1 mit drei oder mehr übereinander angeordneten Ständerspulen ein Magnetring mit einem Zahn eines ersten Ständers (zum Beispiel des mittleren) fluchten, während der zweite Magnetring mit einem Zahn eines zweiten Ständers (zum Beispiel des unteren) fluchtet. Es ist jedoch auch möglich, daß die beiden Magnetringe mit den beiden Zähnen eines Ständers fluchten.

Als magnetischer Rückschluß ist als Teil des Stators ein im Querschnitt rechteckiges magnetisch leitendes Rohr 42 vorgesehen, das in zwei einander gegenüberliegenden

Wandungen Ausnehmungen 42a, 42b aufweist, durch die der Läufer 16 und der Ständer ragen. Die Wandungen des Rohrs 42 haben eine solche Materialdicke und einen solchen Abstand zueinander, daß sie mit zwei Zähnen 22 eines Ständers 18 fluchten.

5 Zwei zueinander benachbarte Ständer 18 eines Gaswechselventils sind durch eine als Abstandshalter und Wirbelstromabschirmung wirkende Aluminiumschiene 40 miteinander fest verbunden.

10 In der in Fig. 4 gezeigten Ausführungsform sind drei Ständer übereinander angeordnet. Hierbei können in der leichtesten Ausführungsform des Läufers zwei Magnetringe im Abstand zueinander angeordnet sein. Vorzugsweise sind jedoch wenigstens vier Magnetringe vorgesehen, wobei jeweils zwei Magnetringe (also ein Magnetring-Paar) mit entgegengesetzter magnetischer Orientierung entweder direkt aneinander liegen oder lediglich einen geringen (axialen) Abstand zueinander haben. Durch die Festlegung des Abstandes der Magnetringe zueinander bzw. auch des Abstandes der Magnetring-Paare zueinander kann der Hubverlauf beeinflußt werden. Dabei ist zwischen zwei Ringen 30 entgegengesetzter magnetischer Orientierung ein magnetisch nicht wirksamer Hohlzylinder, zum Beispiel aus kohlefaserverstärktem Kunststoff angeordnet, so daß insgesamt weniger Magnetringe als Ständerzähne vorhanden sind. Dies hat den Vorteil einer Gewichtseinsparung, erfordert aber eine elektrische Ansteuerung mit mehr Leistung.

15 In der in Fig. 5 gezeigten Ausführungsform sind die Ständer im Prinzip unverändert, allerdings ist der axiale Abstand zwischen den Rohren 42 verringert, indem der Abstandshalter 40 eine geringere Höhe aufweist. Weiterhin ist die Anzahl der Magnetringe 30 gegenüber der Ausführungsform von Fig. 1 erheblich verringert, was eine deutlich verringerte bewegte Masse bedeutet. Hierbei ist zu erwähnen, daß der lediglich eine Magnetring pro Magnetspule bzw. Ständerpolpaar die Minimalzahl darstellt. Bei dieser Anordnung ist die Richtung des Magnetflusses nicht mehr relevant, solange der Magnetfluß in radialer Richtung orientiert ist.

20 Eine weitere Ausführungsform ist in Fig. 6 gezeigt, bei der die Abstandshalter 16a zwischen den Magnetringen 30 so dimensioniert sind, daß der mittleren Spule zwei Magnetringe 30 zugeordnet sind, während der oberen und der unteren Spule jeweils nur ein Magnetring 30 zugeordnet ist.

30 Es versteht sich, daß einzelne oder mehrere Anspekte einer Ausführungsform auch mit anderen Aspekten oder Details einer anderen Ausführungsform zu kombinieren sind.

35 Die erläuterten Ausführungsformen eignen sich besonders, den geforderten Hub von etwa 20 mm mit der erforderlichen Dynamik in dem zur Verfügung stehenden relativ schmalen Bauraum zu realisieren.

Ansprüche

1. Gaswechselventilantrieb für einen ventilgesteuerten Verbrennungsmotor, mit
  - einem mit einem Ventilglied (12) zu koppelnden hohlzylindrischen Läufer (16) und einem Ständer (18), wobei
  - der Läufer (16) konzentrisch übereinander angeordnete, dauermagnetische Ringe (30) aufweist,
  - der Ständer (18) zumindest teilweise aus einem weichmagnetischen Material aufgebaut ist und zumindest einen dem Läufer (16) zugewandten Zahn (22) aufweist,
  - der Ständer (18) einen radial innen liegenden magnetisch leitenden Bereich (50) und einen radial außen liegenden magnetisch leitenden Bereich (52) aufweist, wobei die Ringe (30) des Läufers (16) zwischen dem innen liegenden Bereich (50) und dem außen liegenden Bereich (52) des Ständers (18) angeordnet sind, und
  - der außen liegende Bereich (52) des Ständers (18) zumindest in einem Teilabschnitt (54) im Querschnitt C-förmig gestaltet ist und zumindest eine Ständerspule (28) aufweist.
2. Gaswechselventilantrieb nach Anspruch 1, wobei benachbarte dauermagnetische Ringe (30) des Läufers (16) radial gerichtete, abwechselnde Magnetorientierungen aufweisen.
3. Gaswechselventilantrieb nach Anspruch 1, wobei jeweils zwei benachbarte Ringe (30) des Läufers (16) durch magnetisch nicht wirksame Abstandshalter in einem vorbestimmten Abstand zueinander gehalten sind.
4. Gaswechselventilantrieb nach Anspruch 1, wobei an dem radial innen liegenden magnetisch leitenden Bereich (50) des Ständers (18) und/oder dem radial außen liegenden magnetisch leitenden Bereich (52) des Ständers (18) in Bewegungsrichtung des Läufers (16) wenigstens ein Zahn (22) ausgebildet ist, dessen Abmessung in der Bewegungsrichtung des Läufers (16) im wesentlichen gleich der Abmessung eines dauermagnetischen Rings (30) in der Bewegungsrichtung des Läufers (16) ist, so daß in einer vorbestimmten Stellung des Läufers (16) der wenigstens eine Zahn (22) des Ständers (18) mit einem dauermagnetischen Ring (30) fluchtet.
5. Gaswechselventilantrieb nach Anspruch 1, wobei durch die Abmessungen der dauermagnetischen Ringe (30) in der Bewegungsrichtung des Läufers (16) und den wenigstens einen Zahn (22) des Ständers (18) eine Polteilung definiert ist, die kleiner ist als die Abmessung der Ständerspule (28) in deren Längsrichtung.
6. Gaswechselventilantrieb nach Anspruch 1, bei dem der innen liegende Bereich (50) des Ständers (18) zusätzlich oder an Stelle des außen liegenden Bereiches (52) des Ständers (18) eine Ständerspule (28) aufweist.



7. Gaswechselventilantrieb nach Anspruch 4, wobei der Spulenbereich (18") in Bewegungsrichtung des Läufers (16) größer ist als der Abstand zwischen zwei benachbart angeordneten Zähnen (22) des Ständers (18).
- 5 8. Gaswechselventilantrieb nach Anspruch 1, wobei der Ständer (18) ein weichmagnetischer Formkörper, vorzugsweise aus gepreßtem und/oder gesintertem Metallpulver ist.
- 10 9. Gaswechselventilantrieb nach Anspruch 9, wobei der weichmagnetische Formkörper des Ständers (18) in seinem Inneren wenigstens einen Kern (62) mit Kobalt-haltigem Eisen aufweist.
- 15 10. Gaswechselventilantrieb nach Anspruch 1, wobei die zumindest eine Ständerspule (28) in einem quer zur Bewegungsrichtung (B) des Läufers (16) orientierten Bereich (58) des im Querschnitt C-förmig gestalteten Teilabschnittes (54), oder in einem im wesentlichen parallel zur Bewegungsrichtung (B) des Läufers (16) orientierten Bereich (60) des im Querschnitt C-förmig gestalteten Teilabschnitt (54), oder in einem im wesentlichen parallel zur Bewegungsrichtung (B) des Läufers (16) orientierten innen liegenden Bereich des Ständers diesen konzentrisch umgebend angeordnet ist.
- 20 11. Gaswechselventilantrieb nach Anspruch 1 oder 10, wobei entlang des Umfangs des Ständers 18) wenigstens zwei im Querschnitt C-förmig gestaltete Teilabschnitte (54) mit jeweils wenigstens einer Ständerspule (28) verteilt angeordnet sind.
- 25 12. Gaswechselventilantrieb nach Anspruch 1, wobei dem Läufer (16) ein Wegsensor (32, 34) zur Erfassung des Hubes des Ventilgliedes (12) zugeordnet ist.
- 30 13. Gaswechselventilantrieb nach Anspruch 1, wobei zum Bremsen und Halten des Läufers (16) in wenigstens einer seiner Endstellungen ein die Ringe (30) des Läufers (16) umgebender umgebender oder von diesen umgebener Magnetring (70) mit radialer Magnetorientierung im Bereich der jeweiligen Endstellung des Läufers (16) so angeordnet ist, daß vor dem Erreichen der Endstellung ein Ring (30) des Läufers (16) mit gleicher Magnetorientierung wie der Magnetring (70) diesen passiert um anschließend die Endstellung einzunehmen.
- 35 14. Gaswechselventilantrieb nach Anspruch 1, wobei der Läufer zumindest teilweise durch einen magnetischen Rückschlußkörper umgeben (42) ist.
- 40 15. Gaswechselventilantrieb insbesondere nach de vorhergehenden Anspruch, wobei ein magnetischer Rückschlußkörper (42) durch ein vorzugsweise im Querschnitt rechtecki-

ges magnetisch leitendes Rohr (42) gebildet ist, bei dem in zwei einander gegenüberliegenden Wandungen Ausnehmungen (42a, 42b) vorgesehen sind, durch die der Läufer und der Ständer ragen, wobei die Wandungen eine solche Materialdicke und einen solchen Abstand zueinander haben, daß sie mit zwei Zähnen (22) eines Ständers (18) fluchten.

5

16. Gaswechselventil nach Anspruch 15, wobei der Ständer (18) einen Bandwickel (18') aus weichmagnetischem Blechband aufweist.

10

17. Gaswechselventil nach Anspruch 1, wobei die Zähne (22) bzw. die ihnen gegenüber befindlichen Dauermagnete (20) im Verhältnis zur der axialen Erstreckung der Wicklungskammer (26) so bemessen sind, daß auf einem Abschnitt des Läufers (18) zumindest zwei weitere Dauermagnete (20) Platz finden, wobei die axiale Erstreckung des Abschnitts des Läufers (18) der axialen Erstreckung der Zähne (22) und der Wicklungskammer (26) entspricht.

15

18. Interner Verbrennungsmotor mit wenigstens einem Verbrennungszylinder, mit wenigstens einem Gaswechselventil mit den Merkmalen eines oder mehrerer der vorstehenden Ansprüche.

20

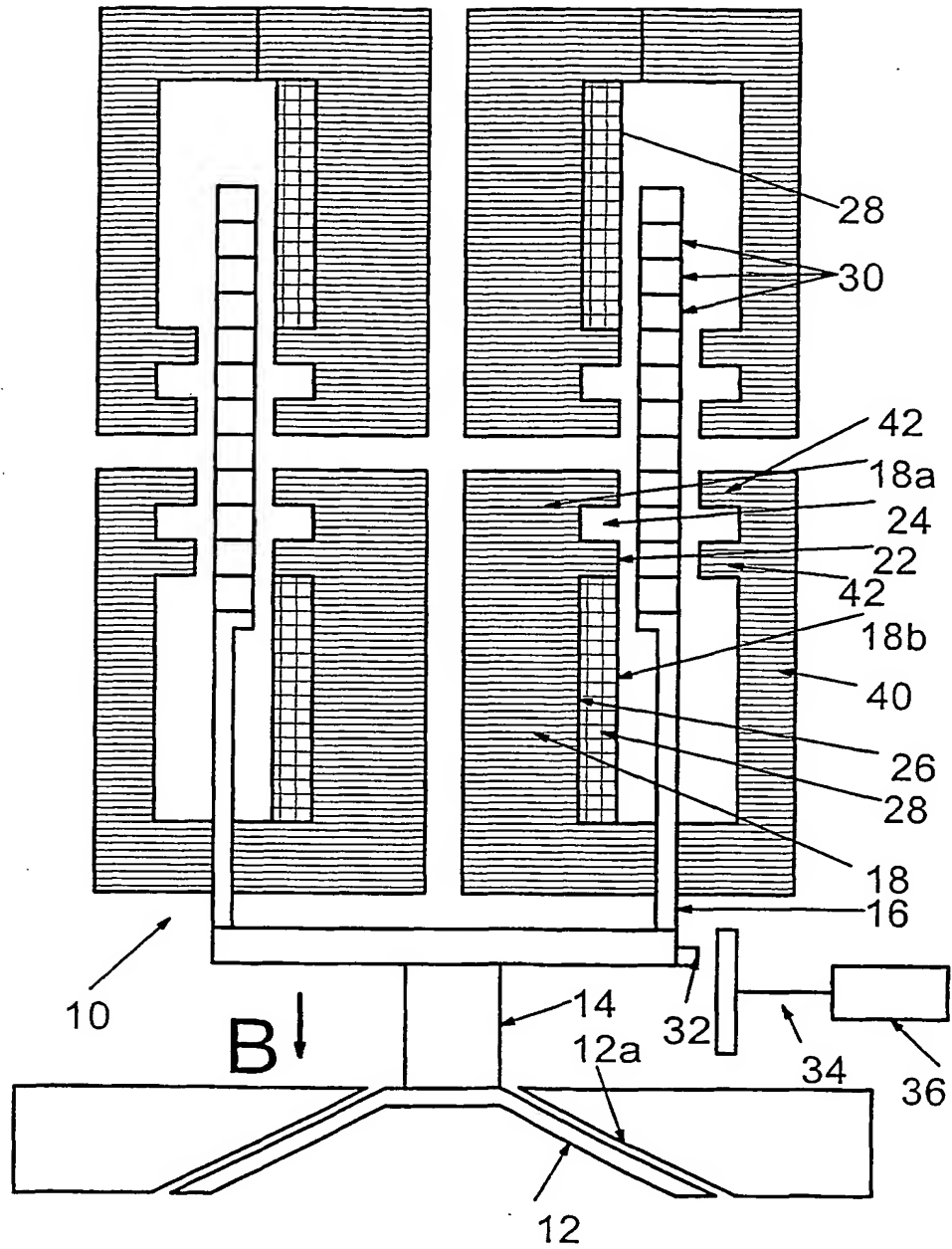


Fig. 1

Fig. 2a

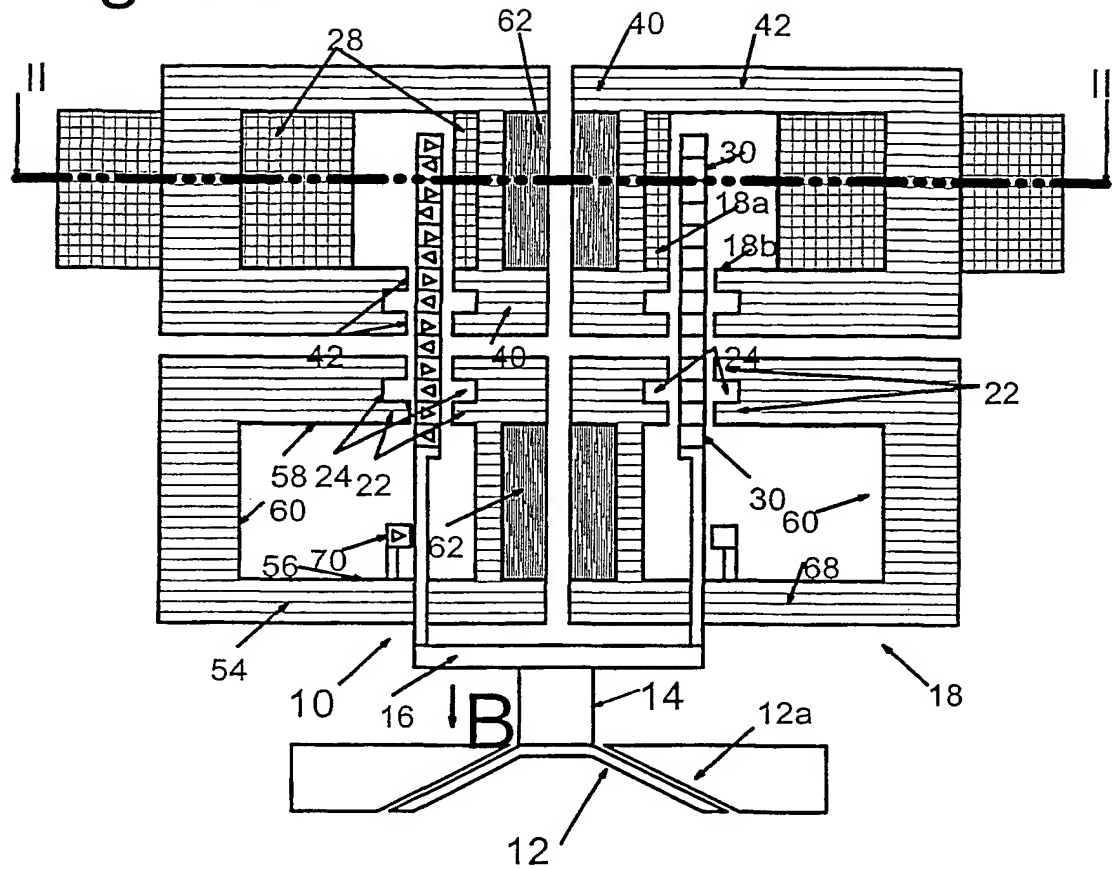
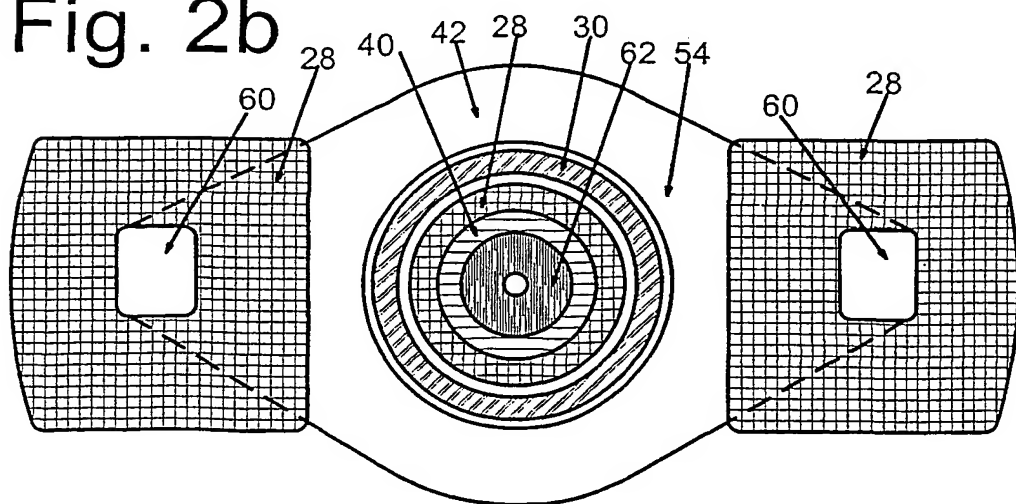
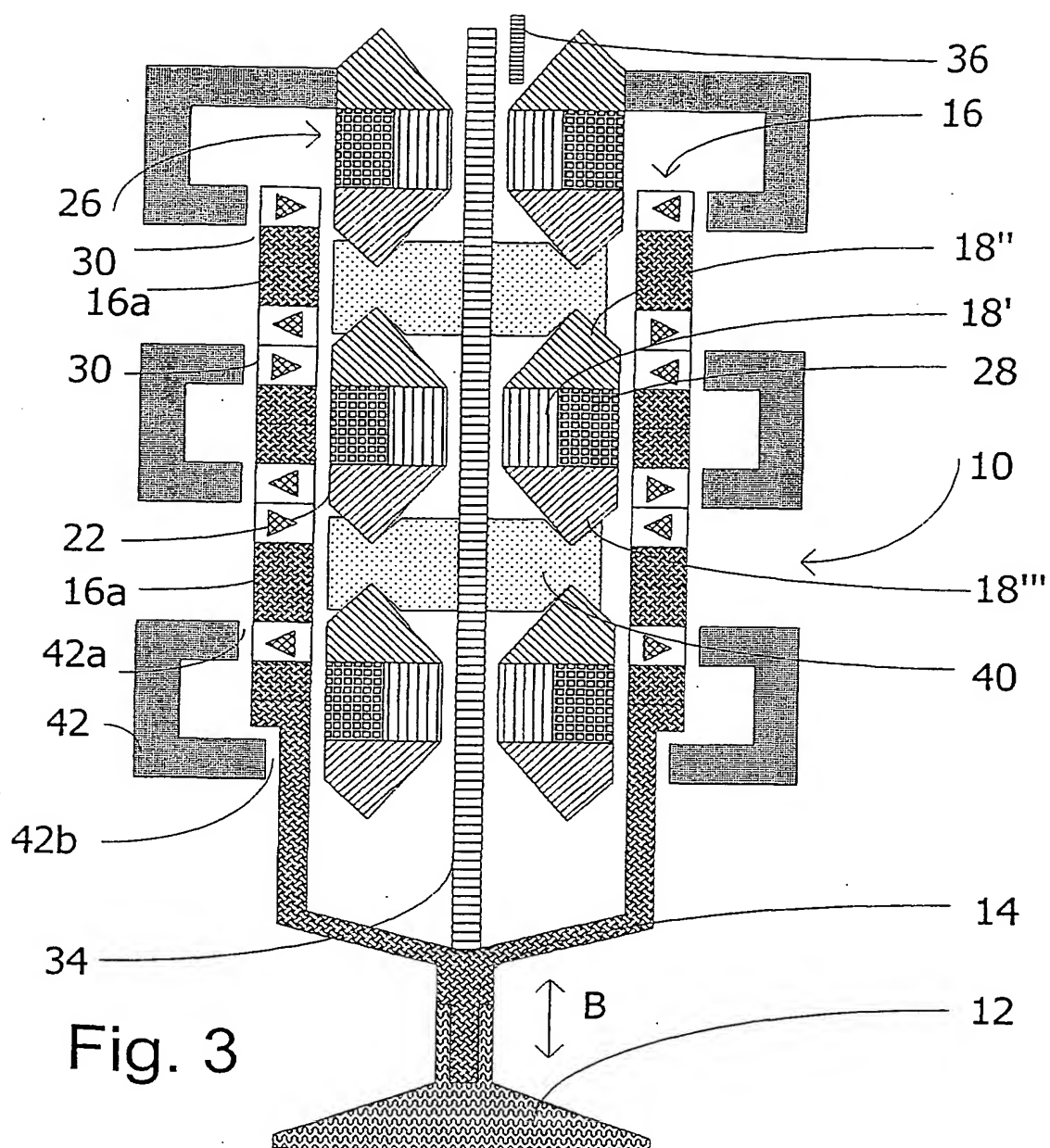
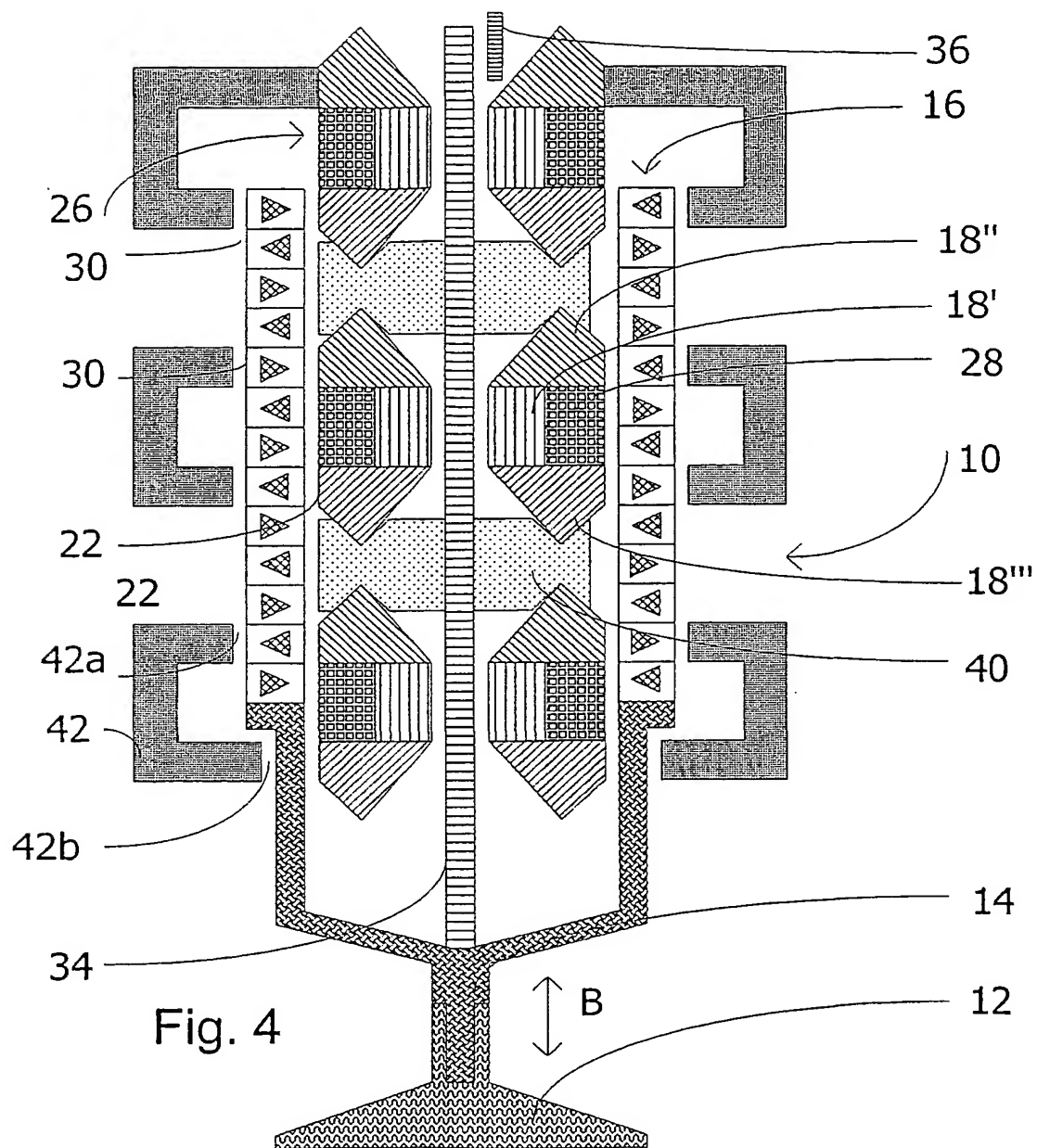


Fig. 2b







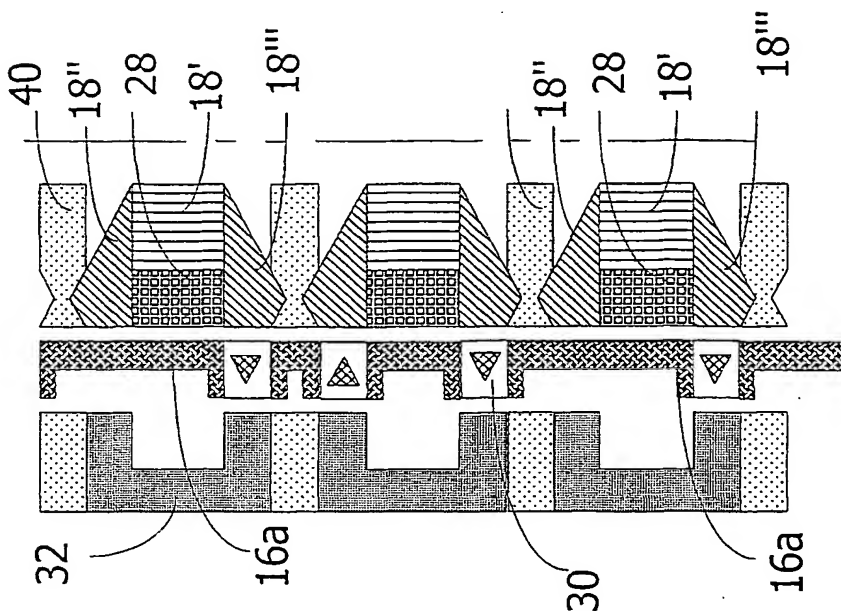


Fig. 6

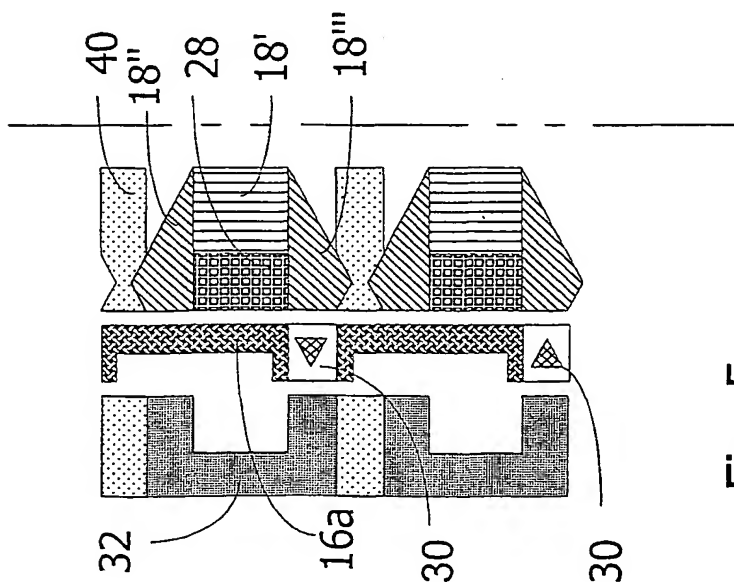


Fig. 5

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/EP 01/08562

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 F01L9/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 F01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)  
EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                   | Relevant to claim No. |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A          | EP 0 485 231 A (ISUZU CERAMICS RES INST)<br>13 May 1992 (1992-05-13)<br>figure 1<br>column 4, line 56 -column 5, line 24<br>---      | 1-18                  |
| A          | EP 0 406 443 A (ISUZU CERAMICS RES INST)<br>9 January 1991 (1991-01-09)<br>figures 2A-2C<br>---                                      | 1-18                  |
| A          | EP 0 390 519 A (ISUZU CERAMICS RES INST)<br>3 October 1990 (1990-10-03)<br>figure 2<br>column 5, line 34 -column 6, line 33<br>----- | 1-18                  |

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 November 2001

Date of mailing of the international search report

07/12/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Paulson, B



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 01/08562

| Patent document<br>cited in search report |   | Publication<br>date | Patent family<br>member(s) | Publication<br>date |
|-------------------------------------------|---|---------------------|----------------------------|---------------------|
| EP 0485231                                | A | 13-05-1992          | JP 4175408 A               | 23-06-1992          |
|                                           |   |                     | DE 69119703 D1             | 27-06-1996          |
|                                           |   |                     | DE 69119703 T2             | 02-10-1996          |
|                                           |   |                     | EP 0485231 A1              | 13-05-1992          |
|                                           |   |                     | US 5406241 A               | 11-04-1995          |
| EP 0406443                                | A | 09-01-1991          | JP 2176285 A               | 09-07-1990          |
|                                           |   |                     | JP 2759330 B2              | 28-05-1998          |
|                                           |   |                     | DE 68913193 D1             | 24-03-1994          |
|                                           |   |                     | DE 68913193 T2             | 19-05-1994          |
|                                           |   |                     | EP 0406443 A1              | 09-01-1991          |
|                                           |   |                     | WO 9007635 A1              | 12-07-1990          |
|                                           |   |                     | US 5076221 A               | 31-12-1991          |
| EP 0390519                                | A | 03-10-1990          | JP 2259211 A               | 22-10-1990          |
|                                           |   |                     | JP 2596459 B2              | 02-04-1997          |
|                                           |   |                     | DE 69002507 D1             | 09-09-1993          |
|                                           |   |                     | DE 69002507 T2             | 18-11-1993          |
|                                           |   |                     | EP 0390519 A1              | 03-10-1990          |
|                                           |   |                     | US 5069422 A               | 03-12-1991          |

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1992)

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 01/08562

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 F01L9/04

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 F01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile                                         | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| A          | EP 0 485 231 A (ISUZU CERAMICS RES INST)<br>13. Mai 1992 (1992-05-13)<br>Abbildung 1<br>Spalte 4, Zeile 56 -Spalte 5, Zeile 24<br>----     | 1-18               |
| A          | EP 0 406 443 A (ISUZU CERAMICS RES INST)<br>9. Januar 1991 (1991-01-09)<br>Abbildungen 2A-2C<br>----                                       | 1-18               |
| A          | EP 0 390 519 A (ISUZU CERAMICS RES INST)<br>3. Oktober 1990 (1990-10-03)<br>Abbildung 2<br>Spalte 5, Zeile 34 -Spalte 6, Zeile 33<br>----- | 1-18               |

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- \*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

29. November 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

07/12/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Paulson, B

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 01/08562

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie | Datum der<br>Veröffentlichung |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| EP 0485231 A                                       | 13-05-1992                    | JP 4175408 A                      | 23-06-1992                    |
|                                                    |                               | DE 69119703 D1                    | 27-06-1996                    |
|                                                    |                               | DE 69119703 T2                    | 02-10-1996                    |
|                                                    |                               | EP 0485231 A1                     | 13-05-1992                    |
|                                                    |                               | US 5406241 A                      | 11-04-1995                    |
| EP 0406443 A                                       | 09-01-1991                    | JP 2176285 A                      | 09-07-1990                    |
|                                                    |                               | JP 2759330 B2                     | 28-05-1998                    |
|                                                    |                               | DE 68913193 D1                    | 24-03-1994                    |
|                                                    |                               | DE 68913193 T2                    | 19-05-1994                    |
|                                                    |                               | EP 0406443 A1                     | 09-01-1991                    |
|                                                    |                               | WO 9007635 A1                     | 12-07-1990                    |
|                                                    |                               | US 5076221 A                      | 31-12-1991                    |
| EP 0390519 A                                       | 03-10-1990                    | JP 2259211 A                      | 22-10-1990                    |
|                                                    |                               | JP 2596459 B2                     | 02-04-1997                    |
|                                                    |                               | DE 69002507 D1                    | 09-09-1993                    |
|                                                    |                               | DE 69002507 T2                    | 18-11-1993                    |
|                                                    |                               | EP 0390519 A1                     | 03-10-1990                    |
|                                                    |                               | US 5069422 A                      | 03-12-1991                    |

Formblatt PCT/ISA/210 (Anhang Patentfamilie)(Juli 1992)

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**